

УДК 582.998.2:631.535

## ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ УКОРЕНЕНИЯ ЗЕЛЕННЫХ ЧЕРЕНКОВ ХРИЗАНТЕМЫ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

О.Ф. ПАНФИЛОВА, В.Н. АДРИАНОВ

(Лаборатория цветоводства)

В результате изучения действия направленного электростатического поля напряженностью 10 и 40 кВ/м на укоренение зеленых черенков хризантемы, длительно хранящихся на холоду (1—2° С), установлено, что оно более эффективно, чем обработка базальной части черенка пудрой индолилмасляной кислоты. При напряженности поля 10 кВ/м достоверно увеличивалось количество корней, образующихся на черенке, при напряженности 40 кВ/м — их средняя и суммарная длина. Обратное электростатическое поле напряженностью 10 кВ/м достоверных различий с контролем не дает. Высказано предположение, что электростимуляция укоренения связана с восстановлением нарушенных во время хранения градиентов биопотенциалов в зеленых черенках хризантемы.

Зеленые черенки хризантемы в отличие от черенков гвоздики и розы очень плохо хранятся на холоду [10, 16, 18]. Однако в предыдущих опытах [1] нами была выявлена возможность хранения зеленых черенков хризантемы ряда сортов с достаточно стабильным водным статусом тканей при температуре 1—2° С в течение 1,5—2 мес при условии соответствующей подготовки черен-

ков. Было установлено также, что при длительном хранении укореняемость черенков снижается до 35—50%, поэтому необходима разработка дополнительных приемов, стимулирующих корнеобразование.

Основной причиной повреждения зеленых черенков при хранении является снижение оводненности тканей и нарушение структурной организации клеток, в основе которой

лежит их мембранное строение. Установлено, что в многочисленных физиолого-биохимических и биофизических процессах, участвующих в поддержании жизнедеятельности растительных организмов, ключевая роль принадлежит системе биомембран и происходящим на них электрическим явлениям. Показано, что в различных стрессовых ситуациях (недостаток влаги и света, пониженная температура, гипогравитация) градиент биопотенциалов снижается вплоть до полного исчезновения, что приводит к нарушению процессов жизнедеятельности [4]. Наложением электрического поля удается восстановить градиенты биопотенциалов и снизить повреждающее действие стрессовых факторов. Положительный эффект использования внешнего электрического поля получен на растениях огурца, увядших при нарушении температурного режима [6], при действии засухи, низких положительных температур, пониженной освещенности [4], гипогравитации [3, 4], дефиците кислорода [3].

Воздействие электрическим полем находит применение в культуре изолированных тканей и протопластов [5, 12, 14, 15, 17]. Установлено сокращение срока выращивания посадочного материала розы путем ежедневного 3-часового воздействия на апикальную и базальную части черенка разностью электрических потенциалов при входном токе 60 мкА [19].

Приведенные литературные данные позволили предположить пер-

спективность использования направленного электростатического поля для повышения укореняемости зеленых черенков хризантемы после их длительного хранения при температуре 1—2° С. В целях проверки правильности данного предположения были проведены специальные исследования в фитотроне Тимирязевской академии, где разработана и функционирует установка для создания электростатического поля [12]<sup>1</sup>.

### Методика

Черенки укореняли в климатической камере при температуре 24/20° С (день/ночь). Световой период — 16 ч (с 6 до 22 ч), облученность (лампы ДРИ-1000) — 60 Вт/м<sup>2</sup>.

Электростатическое поле создается генератором высокого напряжения В-5-24, положительный полюс которого присоединен к токопроводящей алюминиевой пластине, на которой устанавливаются сосуды с черенками. Отрицательный полюс источника тока соединен с металлической сеткой 2 х 2 мм, расположенной над черенками на высоте 25—30 см (рисунок). Воздействие направленного электростатического поля осуществлялось на протяжении всего периода укоренения.

Работа проводилась на зеленых черенках хризантемы, хранившихся при температуре 1—2° С в течение 1—1,5 мес. Для укоренения брали верхнюю часть черенка с верхушечной почкой длиной 3—4 см. Черенки высаживали в пластиковые сосуды диаметром 15 см и высотой

---

<sup>1</sup> Авторы выражают глубокую благодарность заведующему кафедрой физиологии растений Н.Н. Третьякову и заведующему лабораторией В.Г. Земскому за предоставленную возможность проведения исследований и помощь в работе.

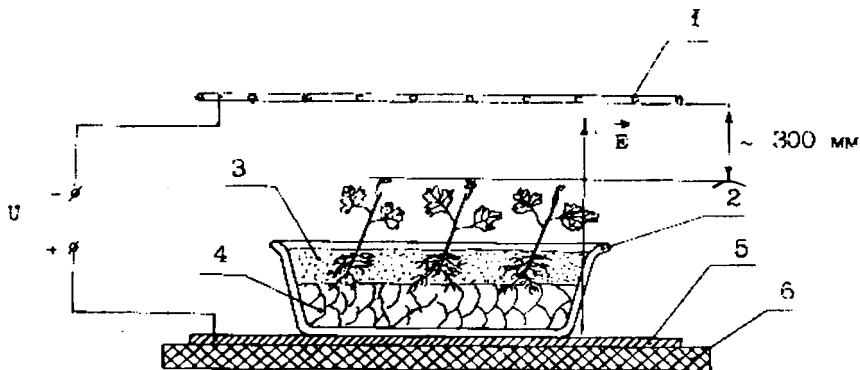


Схема установки для электростимулирования укоренения черенков хризантемы. 1 — токопроводящая сетка; 2 — пластмассовый сосуд; 3 — перлит; 4 — торф; 5 — токопроводящая пластина; 6 — диэлектрическое основание.

6 см, заполненные нейтрализованным торфом, который сверху покрывали 3-сантиметровым слоем перлита. Достоинство такого способа укоренения состоит в хорошей водоудерживающей способности торфа, а также в почти полной стерильности, рыхлости перлита и способности его снижать испарение влаги. Перед посадкой субстрат обильно увлажняли.

Черенки сажали по схеме 2 x 2 см на всю глубину увлажненного слоя перлита с таким расчетом, чтобы по мере формирования корня сразу же могли проникать в питательный слой и листья соседних черенков слегка соприкасались. В первые дни для снижения испарения черенки накрывали белой бумагой и 1—2 раза в день опрыскивали водой. С начала укоренения переходили на ежедневный полив. Массовое укоренение происходило через 15—18 дней. Учитывали процент укоренившихся черенков, количество и среднюю длину корней на черенок.

Укорененные черенки высаживали в пластмассовые контейнеры по

схеме 4 x 4 см на смесь из равных частей дерновой земли и торфа, где выращивали в течение месяца. Проводились 2 подкормки 0,1% раствором мочевины. Учитывали высоту побегов, количество, среднюю длину придаточных и боковых корней. Экспериментальный материал обработан методами математической статистики [2] с использованием пакета прикладных программ «Статистика».

Первая серия опытов проведена в апреле—мае 1993 г. на черенках, заложенных на хранение 25 февраля. Опыты повторены 3 раза и поставлены в 4 вариантах: 1 — контроль (без обработки электростатическим полем); 2 — направленное электростатическое поле напряженностью 10 кВ/м (+ внизу, — наверху); 3 — направленное электростатическое поле напряженностью 40 кВ/м (+ внизу, — наверху); 4 — обратное электростатическое поле напряженностью 10 кВ/м (— внизу, + наверху). В варианте использовано по 30 черенков каждого сорта. Воздействие электрос-

татического поля осуществлялось в течение всего периода укоренения черенков. Учет укоренения проводили через 18 дней после посадки.

Во второй серии опытов, проведенных в осенне-зимний период 1993/94 г., сравнивалось влияние направленного электростатического поля напряженностью 10 кВ/м и действие индолилмасляной кислоты (ИМК), которую в опытах по укоренению черенков принято использовать в качестве стандарта. Условия опытов те же, что и в первой серии.

### Результаты

Из табл. 1, где представлены данные первой серии опытов, видно, что направленное электростатическое поле положительно влияет на укоренение черенков, хранящихся 45 дней. Существенное увеличение процента укоренения наблюдалось уже при напряженности 10 кВ/м ( $HCP_{05}$  10,8%). Несколько большая степень стимулирования достигалась в электростатическом поле напряженностью 40 кВ/м. Вариант с обратным электростатическим полем (— внизу, + наверху) не имел достоверных различий с контролем. Обращает на себя внимание тот факт, что в направленном поле напряженностью 10 кВ/м достоверно увеличивалось количество корней ( $HCP_{05}$  0,84—0,98), приходящееся на 1 черенок, при несущественном изменении их длины по сравнению с контролем ( $HCP_{05}$  0,43—0,84). У ряда сортов (Вестланд желтый, Делайт, Парижанка) в этом варианте уже через 2 нед начинали формироваться побеги.

Увеличение напряженности электростатического поля до 40 кВ/м

практически не изменило количество образовавшихся корней по сравнению с их численностью в варианте 10 кВ/м, но значительно увеличило их длину. Общая протяженность корней одного черенка возрастала в 4—5 раз по сравнению с контролем.

У разных сортов сила реакции на действие электростатического поля была неодинаковой. Так, на укореняемость черенков сортов Парижанка и Делайт напряженность 10 кВ/м произвела значительное стимулирующее действие, а в поле напряженностью 40 кВ/м процент укоренения увеличивался незначительно. Для сортов Лебединая песня и Вестланд желтый более эффективной оказалась напряженность 40 кВ/м. Это свидетельствует о разной их чувствительности. Сам же факт электростимуляции установлен для всех изучаемых сортов. Причем оказалось весьма важным соблюдение полярности. Стимулирование наблюдалось только в том случае, когда к нижней пластине присоединялся положительный полюс источника питания, а к верхней — отрицательный, что соответствует направлению аксиального градиента биологических потенциалов в неповрежденном растении.

Из табл. 2, где представлены результаты второй серии опытов, следует, что электростатическое поле напряженностью 10 кВ/м в среднем на 20% (17—24% в зависимости от сорта) повышает укореняемость черенков, хранящихся 45 дней. Это существенно больше, чем в варианте с обработкой базальной конца черенка пудрой индолилмасляной кислоты (4 мг на 1 г талька). Причем в электростатическом поле уве-

## Укоренение черенков хризантемы разных сортов в первой серии опытов

Показатель	Сорт					
	Вестланд бронзовый	Вестланд желтый	Делайт	Лебединая песня	Марлен	Пари- жанка
<i>Контроль</i>						
Укоренение, %	60	63	53	50	57	47
Корни, шт/черенок	5	4	3	4	3	5
Длина корней, см:						
средняя	3,0	2,5	3,0	3,5	2,3	2,3
суммарная	15,0	10,0	9,0	14,0	6,9	11,5
<i>10 кВ/м</i>						
Укоренение, %	73	77	73	67	70	67
Корни, шт/черенок	7	5	5	6	5	8
Длина корней, см:						
средняя	2,5	2,5	3,2	3,2	2,0	2,6
суммарная	17,5	12,5	16,0	19,2	10,0	20,8
<i>40 кВ/м</i>						
Укоренение, %	77	83	77	87	73	73
Корни, шт/черенок	8	7	5	7	6	8
Длина корней, см:						
средняя	10,2	8,5	7,3	8,0	5,5	6,0
суммарная	81,6	59,5	36,5	56,0	33,0	48,0
<i>Обратное поле, 10 кВ/м</i>						
Укоренение, %	63	60	50	53	63	47
Корни, шт/черенок	4	3	4	3	4	6
Длина корней, см:						
средняя	2,4	2,6	2,5	3,2	2,3	2,7
суммарная	9,6	7,8	10,0	9,6	9,2	16,2

личивалось не только количество укорененных черенков, но и число корней в расчете на черенок (по 5—8 против 3—5 в контроле) при незначительном увеличении средней их длины. Общая же протяженность корней на черенок в электрическом поле превосходила контроль в 1,5—2 раза, что свидетельствует об улучшении качества полученного посадочного материала.

Дальнейшее выращивание показало, что в месячном возрасте (табл. 3)

у растений сформировалась достаточно мощная корневая система и варианты несущественно различались между собой. Сильнее проявились сортовые различия. Только у растений сорта Френки Лейн, полученных из черенков, укорененных в направленном электростатическом поле напряженностью 40 кВ/м, была достоверно большая суммарная длина корней по сравнению с контролем. Высаженные в горшки растения дали стандартную цветочную продукцию.

## Укоренение черенков хризантемы разных сортов во второй серии опытов

Показатель	Сорт				
	Вестланд бронзовый	Делайт	Лебединая песня	Парижанка	Спайдер белый
<i>Контроль</i>					
Укоренение, %	60	53	53	47	43
Корни, шт/черенок	5	3	4	5	3
Длина корней, см:					
средняя	3,0	3,0	2,2	2,3	2,8
суммарная	15,0	9,0	8,8	11,5	8,4
<i>Обработка ИМК</i>					
Укоренение, %	69	64	67	53	43
Корни, шт/черенок	4	5	5	6	4
Длина корней, см:					
средняя	2,6	2,5	2,5	3,1	2,8
суммарная	10,4	12,5	12,5	18,6	11,2
<i>Электростимуляция 10 кВ/м</i>					
Укоренение, %	77	77	70	67	63
Корни, шт/черенок	7	5	6	8	5
Длина корней, см:					
средняя	2,5	3,2	3,4	2,6	3,1
суммарная	17,5	16,0	20,4	20,8	15,5

Таким образом, воздействие направленного электростатического поля повышает укореняемость черенков, не вызывая никаких отклонений в дальнейшем росте и развитии растений.

Наблюдаемое положительное действие направленного электростатического поля на укоренение черенков, вероятно, связано с восстановлением градиентов биопотенциалов в черенках, поврежденных при длительном хранении на холоду. Свидетельством этого является тот факт, что стимулирование укоренения наблюдалось только в том случае, когда внизу был положительный, а наверху — отрицательный полюс источника питания, что соответству-

ет направлению градиента биопотенциалов в неповрежденном растении. Обратное поле (— внизу, + наверху) достоверных различий с контролем не давало.

Физиологической основой осевой полярной организации растения является взаимодействие по крайней мере трех типов градиентов: фитогормона индолилуксусной кислоты (ауксина), ионов  $Ca^{2+}$  и градиентов биоэлектрических потенциалов. С помощью специально разработанного комплекса методических подходов показано, что аксиальные градиенты биоэлектрических потенциалов отражают электрическую полярность отдельных клеток и способны влиять на процессы полярного

**Морфологическая характеристика месячных растений хризантемы,  
укорененных в направленном электростатическом поле**

Условия укоренения	Высота побега, см	Придаточные корни			Боковые корни			Суммарная длина корней, см
		шт.	средняя длина, см	суммарная длина, см	шт.	средняя длина, см	суммарная длина, см	
<i>Вестланд белый</i>								
Контроль	8,2	7,5	3,5	26,2	4,3	0,7	3,1	29,3
10 кВ/м	7,7	7,7	4,2	32,3	6,6	0,5	3,3	35,6
40 кВ/м	7,5	7,2	3,9	28,1	8,5	0,6	5,1	33,2
<i>Лебединая песня</i>								
Контроль	6,9	7,1	2,1	14,9	5,4	1,2	6,5	21,4
10 Кв/м	8,3	6,5	2,1	13,6	7,0	0,9	6,3	19,9
40 кВ/м	7,6	7,5	2,9	21,8	2,0	1,7	3,4	25,2
<i>Френки Лейн</i>								
Контроль	5,8	8,6	2,7	23,2	1,8	0,5	0,9	24,1
10 кВ/м	4,9	7,4	2,6	19,2	4,6	1,1	5,1	24,3
40 кВ/м	6,4	6,6	4,2	27,7	3,8	1,2	4,6	32,3

роста, контролируя базипетальный транспорт ауксина. Установлено также, что наиболее принципиальным элементом в регуляции процессов векторизованного роста являются активные полярные потоки ионов  $Ca^{2+}$ , формирующиеся за счет работы Са-каналов и Са-АТФаз. На их основе возникают полярные потоки других ионов и фитогормонов, создается электрическая ось полярности, формируется ось симметрии растений [8].

С биоэлектрическими явлениями связаны практически все процессы, происходящие в организме: энергетический обмен, поглощение и транспорт веществ, направленный транспорт фитогормонов, распределение воды и многие другие, лежащие в основе новообразования веществ и роста. Наши данные согласуются с мно-

гочисленными указаниями в литературе на возможность управления метаболизмом, ростом и развитием растений посредством электромагнитных полей [4, 7, 11, 13, 19]. В работе польских исследователей показано, что 10—15-минутное экспонирование срезанных листьев хризантемы сорта Браво в электромагнитном поле напряженностью 180 кВ/м значительно увеличивает количество адвентивных побегов на укорененных листовых черенках. Растения, полученные из таких черенков, по морфологическим характеристикам (высоте стебля, количеству листьев) и времени цветения не отличались от контроля. Диаметр соцветий несколько увеличился: в контроле — 11,4 см, в опыте в зависимости от времени обработки электромагнитным полем — 12,3—12,8 см [19].

Полученный экспериментальный материал и приведенные данные литературы показывают перспективность использования воздействия направленного электростатического поля наряду с другими методами размножения растений.

### Выводы

1. Укоренение зеленых черенков после длительного хранения в направленном электростатическом поле более эффективно, чем обработка базальной части черенка пудрой индоллилмасляной кислоты, и является важным резервом получения посадочного материала хризантемы к определенному сроку.

2. Существенное увеличение процента укоренения черенков (от 17 до 24) наблюдается в направленном электростатическом поле (+ внизу, — наверху) напряженностью 10 кВ/м. Сорты различаются по чувствительности к действию электростатического поля.

3. В направленном электростатическом поле напряженностью 10 кВ/м достоверно увеличивается количество корней, образующихся на черенке, при напряженности 40 кВ/м — их средняя и суммарная длина.

4. Электростимуляция укоренения, вероятно, связана с восстановлением нарушенных во время хранения градиентов биопотенциалов в зеленых черенках хризантемы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Адрианов В.Н., Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В.* Особенности водообмена и возможность длительного хранения зеленых черенков перспективных сортов хризантемы. — Изв. ТСХА, 1995, вып. 4,

135. — 2. *Гатаулин А.М.* Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельск. хоз-ве. М.: Изд-во МСХА, 1992, ч. 1 и 2. — 3. *Гордеев А.М.* Оптимизация минерального питания растений при неблагоприятных факторах среды. М.: Агропромиздат, 1991. — 4. *Каменская К.И., Шогенов Ю.Х., Третьяков Н.Н.* Функциональная роль градиентов потенциалов в растениях. — В сб.: Электрофизиологические методы в изучении функционального состояния растений. М.: МСХА, 1988, с. 3—14. — 5. *Кутлаев Г.Б., Долгих Ю.И., Бутенко Р.Г.* Электрический ток как регулятор морфогенеза в культуре тканей кукурузы. — Тез. докл. на III съезде ВОФР. СПб, 1993, с. 126. — 6. *Куликов Б.А., Савина В.М., Судаченко В.Н. и др.* Эффективность применения электрического тока при выращивании растений огурца в теплице. — В сб.: Науч. тр. НИП-ТИМЭСХ. Л., 1981, с. 82—86. — 7. *Медведев С.С.* Участие ауксина, кальция и электрических градиентов в полярной организации растительного организма. — Тез. докл. на II съезде ВОФР. М., 1990, с. 61. — 8. *Медведев С.С.* Физиология формирования осевой симметрии у растений. — Тез. докл. на III съезде ВОФР. СПб, 1993, с. 367. — 9. *Стрельцов Б.Н., Рукавишников А.М., Коротанов В.А.* Электрофизическая стимуляция черенков. — Цветоводство, 1984, № 5, с. 9. — 10. *Стрельцов Б.Н., Рукавишников А.М., Коротанов В.А.* Хранение цветов. М.: Агропромиздат, 1988. — 11. *Стрельцов Б., Стрельцов К.* Управление метаболизмом растений путем пропускания слабого электри-



ческого тока. — Международн. агропром. журн., 1990, № 6, с. 91—94. — 12. *Третьяков Н.Н., Гаврикова Л.И., Каменская К.И. и др.* Электростимуляция роста и развития черной смородины в культуре in vitro. — Изв. ТСХА, 1994, вып. 2, с. 179—182. — 13. *Третьяков Н.Н., Каменская К.И.* Электрофизиологическая регуляция роста и развития растений в неблагоприятных условиях. — Тез. докл. на III съезде ВОФР. СПб, 1993, с. 433. — 14. *Gaynor J.J.* — Hand look of plant cell culture. 1986, vol. 4, p. 149—

171. — 15. *Goldsworthy A., Rathore K.S.* — J. Exp. Bot., 1985, vol. 36, № 168, p. 1134—1141. — 16. *Kofranek A.M.* Cut Chrysanthemums. — Introduction to Floriculture / Ed. Larson R.A., N.Y.: Acad. Press, 1980, p. 3—45. — 17. *Müller B., Bauer R., Glaser R.* — Arch. Züchtungsforch., 1986, vol. 16, № 5, p. 245—248. — 18. *Nishio J., Fubuda M.* — Res. Bull. Aich. Agr. Centr., 1987, vol. 19, p. 25—29. — 19. *Widacka M., Jerry M.* — Acta Horticulturae, 1982, № 125, p. 87—91.

*Статья поступила 15 июня  
1995 г.*

## SUMMARY

As a result of studying the effect of directed electrostatic field with intensity 10 and 40 kv/m on rooting of green cuttings of chrysanthemum kept at low temperature (1—2° C) for a long time it has been found that it is more efficient than treating the basal part of the cutting with powder of indole butyric acid. With field intensity of 10 kv/m there was a reliable increase in number of roots formed on the cutting, with intensity of 40 kv/m their average and total length increased. Reversed electrostatic field with intensity of 10 kv/m does not reliably differ from control. It has been supposed that electrostimulation of rooting is connected with restoration of gradients of biopotentials in green cuttings of chrysanthemum which were destroyed during storage.